

Fotonun Görüntüden Tayfa Yolculuğu: CCD Tayf Gözlemlerinin İndirgenmesi ve İndirgeme Yöntemleri

Sinan Kaan YERLİ

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, ANKARA
e-mail: sinan@astro.physics.metu.edu.tr

ÖZET: Teknoloji, bilime katkısı sürekli yeniler. Bu yenilemeden gökbilim de olumlu etkilenmekte. Son yirmi yıl içinde CCD'nin (Charge Coupled Device-Yük Bağlı Araç) kullanıldığı gözlemler diğer tüm gözlem yöntemlerinin yerine geçmekte. Gökbilginleri, daha önce yapılmış gözlemlere eski damgasını vurarak, yapılagelmiş tüm gözlemleri yenileme çabası içinde. Bu gözle görülür değişimin temel öğelerini kavrayabilme ve özümseyebilmenin, Türkiye'de yeni ve çağdaş teleskopların kurulmaya başlandığı şu dönemde, çok önemli bir aşama olduğuna inanıyorum.

CCD gözlemlerinde, gözlemcilerin işleri eskiye göre kolaylaşmakta. Ancak, gözlem, gözlemi düzenlemekle başlayıp gözlemlenilen verilerin çözümlemesine kadar süren bir dizi işlemden oluşmakta. Her bir işlem kendine özgü öğelerle (parametre) anılmakta ve yapılan her hata işlemlerin sonuna kadar taşınabilmekte. Çok değerli olan gözlem zamanını ve gözlem olanaklarını boşa harcamamak ve en etkin, en çok gözlemi, en kısa sürede alabilmek için uyulması gereken temel kuralları geliştirmek, sanırım her CCD gözlemcisinin amacı olmalı.

Bu bildiriye, bu kural-yöntem bağıntısı en iyi nasıl kurulabilir, anlatılmaya çalışılacak ve özelden de tayf gözlemleri örnek verilecektir. CCD'nin yapısı ve işlevselliği ise biliniyor varsayılacaktır.

1. Sıfır Görüntü (*ing. Bias*)

Sıfır görüntüsü adından da anlaşılacağı gibi *sıfır* süreli bir gözlemlerle kaydedilir. Amacı, CCD yongasındaki yongaya özgü, yapısal düzensizlik ve kararsızlıkları belirlemek, noktacıların (*ing. pixel*) çerçeve (*ing. frame*) genelinden ne kadar uzaklaştığını (ya da yakınlaştığını) kaydetmek içindir.

Yonganın okuma-gürültüsüyle bağıntılı olarak, kaydetmeniz gerekecek SIFIR görüntü sayısı değişecektir. Genelde SIFIR görüntüsü birden çok sayıda alınır ve ortalaması (daha da güvenli olması için ise ortası; *ing. median*) alınır. Günümüzün CCD yongalarında, okuma-gürültüsü, vurudaki temel gürültü kaynağı olmaktan çıkmıştır. Bunun nedeni ise okuma-gürültüsünün bir kaç elektrona düşmesidir. Yüksek vuru-gürültü-oranı ile yürütülen gözlemlerde ise SIFIR'ın önemi yalnızca yonganın alt sınır tepkisini (vuru yoksa yonganın her noktacı nasıl davranır) belirlemek için kullanılmaktadır.

Yonga yapısını belirlemede teleskop konumu, sıcaklık, elektronik kararlılık v.b gibi etkenler etkili olacağından ve SIFIR düzeyi yongadaki konuma bağlı olacağından, alınan her göknesnesi görüntüsü de SIFIR için düzeltilmelidir: SIFIR düzeyi genel vurudan çıkarılmalı. Bu ise *Sıfır Kuşağı*'ndaki bölgeyi kullanarak sağlanabilir: Kuşaktaki tüm diksıraların (*ing. column*) ortalaması alınır ve yonga sırasına göre uyumu (*ing. fit*) bulunur. Bulunan bu uyum daha sonra

ışık düşen diğer tüm diksıralardan çıkarılır. Böylece sıfır düzeyi tüm yongadan atılır. Yonga üstünde gereksizleşen sıfır kuşağı bundan sonraki işlemlerde yük olmaması için görüntüden de atılmalıdır.

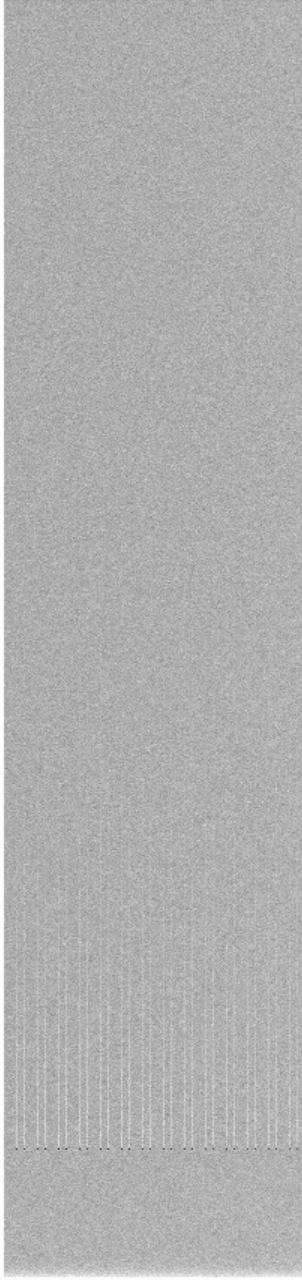
Sıfır yapısını belirlemek için ise en uygun gözlem sıklığı, CCD yongasının gürültüsüne bağlı olarak, 5 ile 10 görüntü arasında değişir. Sıfır görüntü dizisi her gece gözlemden önce ve sonra yapılmalıdır. Daha önce de söylediğimiz gibi ana sıfır görüntüsü yaratmak için tüm sıfırların ortası alınmalı. Bu görüntü yardımıyla gecelik değişimlerin düzeyi ve geceler arasındaki düzey değişimi gözlenebilir.

CCD veri indirgemesinde, görüntüleme (*ing. imaging*) ve tayf ölçüm (*ing. spectroscopy*) arasındaki tek benzerlik sıfır düzeyi ve yapısının belirlemesidir. Görüntü 1.'de 1994 yılında 1m'lik bir teleskopta alınmış bir sıfır verilmektedir. Sıralar boyunca bir yapının varlığı açıkça gözükmemektedir.

2. Düzalan Görüntü (*ing. Flat-Field*)

Her bir göknesne görüntüsü sıfır için düzeltildikten sonra sıra yonganın bir başka aletsel etkisini kaldırmaya gelir: Veriyi düzlemek (*ing. flat-fielding*).

Düzalan (DA) görüntüsü iki yöntemle üretilebilir:



Görüntü 1.

- Yarımkürede düzgün dağıtılmış bir bir aydınlatma: kolay (+), ucuz (+), aydınlatmada kararsızlıklar (-).
- Yarık üstünde heryönlü bir aydınlatma: zor(-), uygulaması pahalı (-), kesin sonuç (+).

Yonga üstündeki değişimlerin etkisi çarpansaldır. Bu yüzden göknesne görüntüleri düzalan görüntüleriyle bölünmeli: Noktacaktan-noktacığa kazanç kararsızlıkları ve büyük-ölçekli boşluksal (*ing. spatial*) kararsızlıklar çıkarılacaktır. Büyük-ölçekli kararsızlıklar uzun-yarıklı tayfölçüm ve görüntüleme önem kazanmakta.

Bunun yanında görüntüleme veriniz varsa veya tayf verinize akı ayarı yaparsanız düzalan görüntülerini ortalama bir değere birimlemeniz (*ing. normalization*) yeterli olabilir. Ancak sayım (*ing. count*) değerlerini korumak ve istatistiksel tayfölçüm çalışmak istiyorsanız düzalan görüntüsüne bir fonksiyon uyumlayarak denet lambasının (*ing. arc lamp*) etkisini çıkartmak zorunda kalabilirsiniz. Çünkü bu tür etkiler dalgaboyuna bağımlı ancak kaynağa özgü olmayanlardır.

Temelde yapılan şudur: Nasıl SIFIR aşamasında uyarılmamış yonganın etkisini bulmaya çalışılıyorsa DÜZALAN aşamasında da uyarılmış, doyma sınırında ancak doymamış bir yonganın etkisi bulunmaya çalışılmaktadır. Böylece yonganın sınırları ve öğeleri belirlenebilecektir.

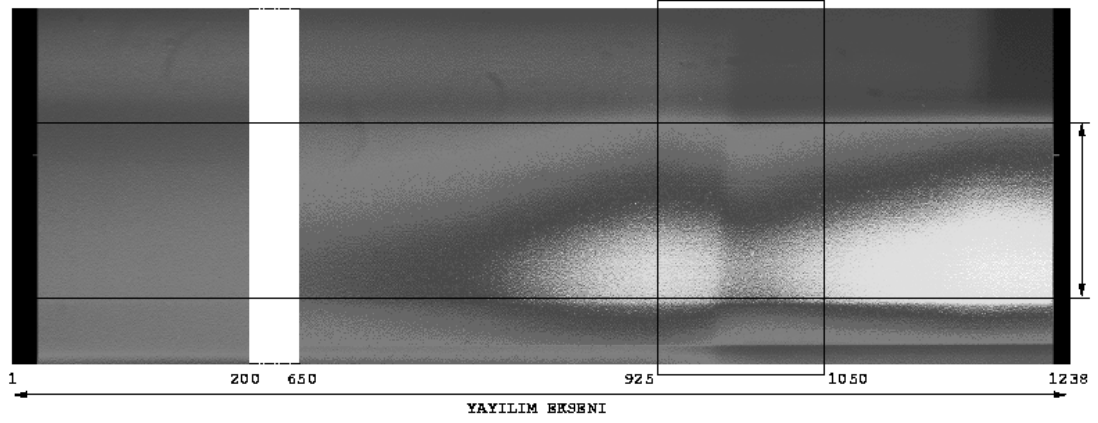
Düzalan görüntü sıklığı ise şöyle: Öncelikle düzalan görüntüleri için gerekli süreyi belirlemek gerekli. Bunun için ilk gece süresi değişik bir dizi görüntü alınmalı ve bunlardan noktacıları doyurmamış ancak tüm noktalar ışıklandırmış olanının süresi genel DA görüntü süresi için seçilir. Bundan sonra da her gözlem gecesi, gözleme başlamadan önce, seçilen sürede, 2-5 kez arasında bir dizi DA görüntüsü alınmalı.

Görüntü 2a.'da ham bir DA görüntüsü verilmiştir. Bu görüntü gerekli düzleme işlemlerinden sonra Görüntü 2b.'ye dönüştürülmüştür. Dikkat edileceği gibi dalgaboyundaki değişim (veya kararsızlık) ve bölgesel ışıklandırma yoğunlaşması kaldırılmıştır. Düzleme işlemi aynı zamanda temizlik anlamına da gelmekte: İşlemler sırasında keskin değişim gösteren veya düzlemeyi zorlaştıracak bölgeler kesilip atılmıştır. Yalnız bu kesilip atılma diğer tüm göknesne görüntülerinde de yapılmalıdır. Çizim 1.'de ise Görüntü 2a.'daki noktacı değerlerinin boşluksal yönde (y-ekseni; kısa eksen) toplanıp birimlenmesiyle elde edilmiştir. Bu çizim için bulunacak bir uyum yardımıyla 2b'deki temizlenmiş DA görüntüsü üretilebilir.

3. En Uygun Ayıklama (*ing. Optimal Extraction*)

Bu aşamada temel amaç tayfı CCD yongasından çekip çıkartmaktır. Şekil 1.'de en uygun ayıklama yönteminde kullanılan görüntü bölgeleri gösterilmiştir. Yöntem kısaca şöyledir.

- Her diksıra için bir Gauss çan eğrisi ve orta noktası (yarık gözleminin yonga üstündeki yeri) belirlenir. Buna *değer* diyelim.
- Görüntü üstünden ve tayfın iki yanından taban değeri belirlemek için birer bölge seçelim ve bunun ortalamasını alalım. Buna da *gök* diyelim.



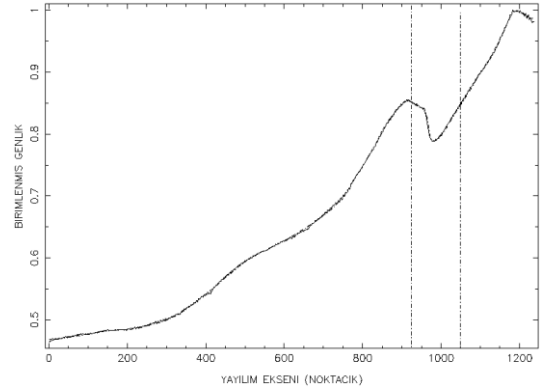
Görüntü 2a.



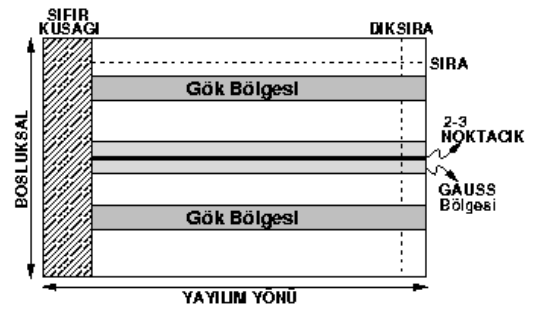
Görüntü 2b.

- Yarıklı olağan koşullarda 2-3 noktacığı ışıklandırır. Bu bölge üzerine uygulanacak Gauss uyumu (*değer*) ile bu uyumun tabanı (*gök*) kullanarak bulacağımız *diksıra değeri* (=değer – *gök*) bize o diksiranın “en uygun” değerini verir.
- Her diksıra için bulunan en uygun değerleri peşpeşe sıraladığımızda ise tayf üretilir.
- Bu aşamayla tayf CCD’den ayrıştırılacaktır. Daha doğrusu 3 boyutlu görüntü 2 boyutlu çizime dönüştürülür.

Bu aşamada aynı zamanda kozmik ışın (evren ışığı) temizliği de yapılmaktadır çünkü Gauss uyumu ile elde edilen değerler çok yüksek



Çizim 1.



Şekil 1.

sayımlardaki kozmikleri doğrudan elemektedir. Dikkat gerektiren tek durum, kozmiklerin yarık görüntüsü üstüne veya 2-3 noktacığın hemen yanına geldiği görüntülerdir. Böyle durumlarda ya görüntü tümünden göknesne görüntü listesinden çıkarılmalı ya da elle kozmik temizleme yapılmalıdır.

4. Dalgaboyu ayarı (*ing. Wavelength Calibration*)

Artık elimizde yayılım yönündeki konuma karşı sayım değerli bir çizim var. Bu her ne kadar bir tayfı andırsada buna dalgaboyu eklediğimiz sürece bu adı alamayacaktır. Dalgaboyu ayarındaki temel amaç ise doğrusal olduğunu varsaydığımız yayılım eksenini dalgaboyu eksenine aktarmaktır. Buradaki en zor iş doğrusallığın boyutunu bulabilmektir.

Dalgaboyu ayarı için gerekli en önemli gözlem denet lambasıdır. Bu lamba, fotoelektrik ışıkölçümündeki *denet yıldızı* ile benzer görevi üstlenmektedir. Denet lambası bir göknesnesi gibi gözlenip kaydedilmelidir. Gözlem süresi doğrudan lambanın özelliklerine ve çizgi genliklerinin CCD duyarlılığıyla algılanabilmesine bağlıdır. Denet lambası seçerken dikkate alınması gereken öğelerin başında çalıştığımız dalgaboyunda bolca salma çizgisi üretebilmesi gelmektedir. Salma çizgisi sayısı ne kadar çoksa yukarıda sözü geçen “aktarma” işlemi de o kadar *doğrusal* olacaktır.

Optik düzenek (teleskop ve tayfölçer) ve denet lambasının toplam kararsızlığını gidermek için göknesne gözlemleri denet gözlemleriyle sıkıştırılmalı. Bu fotoelektrik ışıkölçümündekinin aynısıdır; denet – nesne – denet veya denet – nesne ... nesne – denet).

Elimizdeki göknesne ve denet lambası görüntülerinin yayılım eksenini “sıralı sayı” türünden. Amacımız bu sayıları bilinen dalgaboyu değerlerine aktarmak. Bu aktarmayı ise denet lambasındaki bilinen dalgaboyu değerlerinin yardımıyla yapabiliriz: Denet görüntülerinde bir dizi dalgaboyu bilinen salma çizgisi belirlenir: eşleme (*ing. line identification*). Bunların “sayı” değerleri hesaplandığında da artık “sayı \Rightarrow dalgaboyu” aktarımı yapılabilir.

Bu aktarım, doğrusallığın ölçeğinden emin olamadığımız için yine yayılım yönünde bulunacak bir uyumla sağlanmalıdır. Ancak uyum kertesini çokça yükseltmemelidir. Yoksa, doğrusallığı bozan herhangi bir salma çizgisi bile işe yarıyor gibi gözükebilir. Bu yüzden kerte arttırımı ancak zorda kalındığında yapılmalıdır. Buna karar verecek en iyi öğe ise uyumun hata oranıdır. Bu 10^{-4} kadar düşürülmelidir. Buna

ulaşmaya çalışırken gerekirse kullanılan denet çizgileri çıkartılmalı veya eklenmelidir.

CCD noktacıklardan oluştuğundan her noktacığa denk gelecek dalgaboyu değeri hesaplanmalıdır. İşte bu hesaplama da dalgaboyu ayarının son aşamasını oluşturur: Yuvarlama (*ing. crunching*):

$$\lambda_i = \lambda_0(x_1) + \Delta\lambda(\Delta x)$$

Burada $\lambda_0(x_1)$, birinci noktacığın hesaplanan dalgaboyu değerini; $\Delta\lambda(\Delta x)$ ise birinci noktadan Δx uzaklıktaki noktacığın dalgaboyu değerini göstermektedir.

Bu aşama sonunda elimize gerçek anlamda bir tayf geçmektedir.

5. Akı Ayarı (*ing. Flux Calibration*)

Düzalan hazırlanma bölümünde de söylediğimiz gibi akı ayarı her zaman gerekemeyebilir. Yine fotoelektrik ışıkölçümünden örnek verirsek bu aşama ışık değişimlerini “kadirle” (=akı ayarlı) veya “kadir farklarıyla” (=akı ayarsız) göstermeye benzer. Yöntem şöyle özetlenebilir.

Gözlem dönemi boyunca ara ara veya zamanınız var ve hiç bir şeyi şansa bırakmamak istiyorsanız her gece, tayf-ışıkölçüm (*ing. spectrophotometric*) standart yıldızlar gözlenmeli. Bu tür yıldızlar daha önce, kullandığımız veya başka bir teleskopla gözlenmiş ve dalgaboyuna karşılık *duyarlı* akı değerleri, bir çizelgede toplanmış olmalıdır.

Önce tüm göknesne tayf zamanları gözlem orta zamanında hava kütlesi için düzeltilmeli. Sonra gözlediğimiz standart yıldızın dalgaboyu eksenini, arşiv değerlerine uyarlanmalı (ara değer bulma) ve birim zamana indirgenmeli. Daha sonra da bu uyarlamalardan bir uyum eğrisi üretilmeli. Gözlemevinin bilinen sönümlenme çizelgesi bu aşamada tayfalara etkilendirilmelidir. Son olarak elde edilen uyum eğrisi tüm tayfala aktarılmalı: sayı değerleri akıya çevrilmeli.

6. Diğer aşamalar

Akıya uyarlanmış bir y-ekseni yerine, tayfınızı birimleyebilirsiniz de. Bunun için yapılması gereken ise tayfin süre (*ing. continuum*) düzeyini duyarlı olarak uyumlamak ve tayfı bu uyum eğrisine bölmektir.

Echelle tayfçekerisi ile alınan görüntülerin indirgenmesinde oluşacak temel farkla ise şöyle:

- Bir yerine birçok yarık gözlemi gibi düşünülmesi.

- Her tayfsırası (*ing. order*) ayrı ayrı belirlenmeli.
- Bu önindirgeme işlemlerini zorlaştırmaktadır.
- Düzalan görüntüsünün süresi çok kritiktir: Tayfsıraların başı veya sonu ya az ya da çok ışıklanmaktadır.
- Denet lambası çok iyi seçilmelidir. Çünkü tüm tayfsıralarında yeteri kadar salma çizgisi olmalıdır.
- Dalgaboyu ayarı ikinci bir boyut girdiğinden daha karmaşıklaşmaktadır.

Kaynaklar

- Massey P.,1997, “*A User’s Guide to CCD Reductions with IRAF*”.
- Massey P., Valdes F., Barnes J., 1992, “*A User’s Guide to Reducing Slit Spectra with IRAF*”.
- Valdes F., 1992, “*Guide to the Slit Spectra Reduction Task DOECSLIT*”.
- Willmarth D., Barnes J., 1994, “*A User’s Guide to Reducing Echelle Spectra with IRAF*”.
- Yerli S.K., 1999, “*An Observational Study of Algol-type Binary Stars*”, Ph.D Thesis, Sussex University.